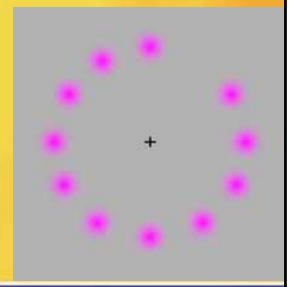
The Wave Nature of Particals



353 PHYS — Dr. Abdallah M.Azzeer — Page 1

Introduction to Quantum Mechanics مقدمة لميكانيكا الكم

يمكن وصف الموجات الكهرومغناطيسية (الفوتونات) على أنها تغير في المجال الكهربي والمغناطيسي في الفراغ. أي أن الموجة المصاحبة للفوتون هي تلك الموجة الكهرومغناطيسية.

وإذا كان الأمر كذلك فماذا عن الموجات المصاحبة للجسيات المادية؟ !ما الذي يتذبذب في هذه الحالة لكي نقول أن الإلكترون أو أي جسيم مادي آخر يظهر خواص موجية؟

وللإجابة على هذا التساؤل سوف نربط بين الخواص الموجية والجسيمية للموجات الكهرومغناطيسية ...

بناءً على النظرية الكهرومغناطيسية يمكن التعبير عن شدة الشعاع الكهرومغناطيسي (I) على النحو التالي :

$$I = \varepsilon_o \, c \, E^2 \quad (\textit{wave description})$$

353 PHYS — Dr. Abdallah M.Azzeer — Page 2

يمكن التعبير عن شدة الشعاع الكهرومغناطيسي من وجهة النظر الجسيمية بالمعادلة بدلالة عدد الفوتونات الساقطة (N) على وحدة المساحات في وحدة الزمن

$$I = N h\nu \quad (\textit{particle description})$$

وحيث أن كلا من المعادلتين تعبران عن شدة الشعاع الكهرومغناطيسي إذا يمكن مساواة الطرف الأيمن من المعادلتين

$$\varepsilon_o c E^2 = N h\nu$$

وحيث أن احتمالية مشاهدة فوتون عند أي نقطة في الفراغ خلال وحدة الزمن تتناسب طردياً مع شدة الشعاع I فإن الاحتمالية أيضاً تعتمد على مربع سعة المجال الكهربي للموجة E^2

$$\textit{Probability per unit time} \ \alpha \ E^2 \ \alpha \ N$$

353 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer Page 3

وبهذا لا يكون المجال الكهربي يعبر عن القوة التي تؤثر على وحدة الشحنات فقط بل له معنى فيزيائي وهو أن المجال الكهربي دالة مربعها يعبر عن احتمالية رصد فوتون عند نقطة في الفراغ في وحدة الزمن ..

353 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer Page 4

Photon: خواص الفوتون

Quantized Energy Particle

- يتحرك الإلكترون بسرعة الضوء (c)
- حسب النظرية النسبية ($m = \frac{m_0}{\sqrt{1-(v/c)^2}}$) فإن كتلته ($m = m_0/0 = \infty$) وهذا غير معقول.
- ولكن بإفتراض أن ($m_0 = 0$) وهذا يؤدى الى أن ($m = 0/0$) وهي قيمة غير محددة.
- في الحقيقة عدم معرفة كتلة الفوتون الساكنة (m_0) غير مهمة نظرا لعدم وجود الفوتون ساكنا بشكل مطلق . فإما يوجد متحركاً بسرعة c أو لايوجد.
- إذا تحرك فوتون طاقته $E = h\nu$ فإنه حسب النظرية النسبية تكون طاقته وكتلته على الصورة:

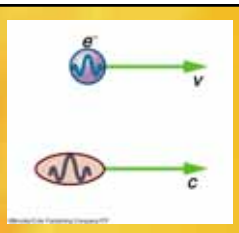
$$E = mc^2 = h\nu$$

$$\Rightarrow m = \frac{h\nu}{c^2}$$

وحيث أن :

$$E^2 = (pc)^2 + (m_0c^2)^2$$

وبإفتراض أن $m_0 = 0$ صحيحا فإن طاقة الفوتون تكون $E = pc$



$$\Rightarrow p = E/c = \frac{mc^2}{c} = mc$$

لذلك إذا إعتبرنا فوتون ذو تردد ν كجسيم فإن:

$$p = E/c = \frac{h\nu}{c}$$

$$m_0 = 0 \ , \ E = h\nu \ , \ m = h\nu/c^2 \ , \ p = h\nu/c = h/\lambda$$

وسوف نرى أن هذه الخواص للفوتون مهمة عندما نتطرق إلى الحديث عن ظاهرة كومتون والتى دعمت نظرية الفوتون.

Example:

Find the rest mass, rest energy, mass, and energy of a 100 pm photon

$m_0 = 0$,

$E_0 = 0$,

$E = hv = hc/\lambda = 1.99\times10^{-15}$ J

$m = E/c^2 = 2.21\times10^{-32}$ kg ,

Note that (m_{0e}/ $m_{photon(\lambda=100\ pm)} \approx 40$)

$p = hv/c = h/\lambda$

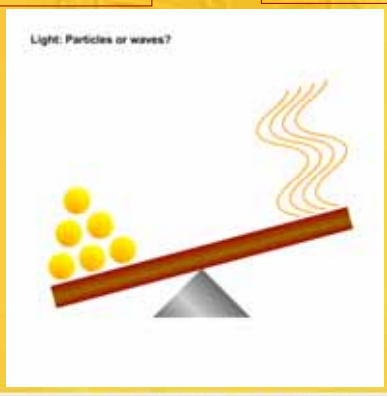
سـؤال

الفوتونات جسيمات محددة

- إشعاع الجسم الأسود
- الظاهرة الكهروضونية
- تأثير كومتن

الإلكترونات جسيمات محددة

- قياس شحنة الإلكترون e (تجربة قطرة الزيت)
- قياس e/m (تجربة تومسن)



de Broglie hypothesis فرضية ديبرولى

تمهيد

علمنا مما سبق أن للأشعة الكهرومغناطيسية خاصية موجية وخاصية جسيمية وان العديد من الظواهر الفيزيائية للأشعة الكهرومغناطيسية لا يمكن تفسيرها إلا إذا اعتمدنا على الخاصية الجسيمية مثل ظاهرة الانعكاس والانكسار والظاهرة الكهروضونية، كما ان هناك ظواهر فيزيائية مثل التداخل والحيود لا يمكن تفسيرها إلا بالاعتماد على الخاصية الموجية للضوء .

بتطبيق نظرية الكم على الشعاع الكهرومغناطيسي يمكن اعتبار الضوء مكون من فوتونات لها طاقة E وكمية حركة p

$$E = h\nu$$

$$p = h/\lambda$$

تظهر الخصائص الموجيه في هاتين المعادلتين في الطرف الأيمن في λ و ν بينما تظهر الخواص الجسيمية في الطرف الأيسر من المعادلتين في E و p

والسؤال الذي يطرح نفسه الآن هل يمكن للجسيمات المادية كالإلكترون؟ أي هل الخاصية المزدوجة موجودة في الجسيمات؟

353 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer Page 9

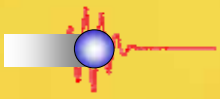
نظراً لأن الأشعة الكهرومغناطيسية لها خاصية موجية وخاصية جسيمية لذا يكون للأشعة الكهرومغناطيسية خاصية مزدوجة وعند تفسير الظواهر الضوئية نعتمد على أحدى هاتين الخاصيتين،

فهل للجسيمات المادية خاصية مزدوجة أي يمكن التعامل مثلاً مع الإلكترون على انه موجة هذا ما افترضه ديبرولي De Broglie سنة 1924 من خلال الفرضيات التالية:

1 – إذا كان هناك جسيم له كمية حركة p فإن حركته ترافق associated (تقاد بـ guided) موجة طولها الموجي يعطى بالعلاقة:

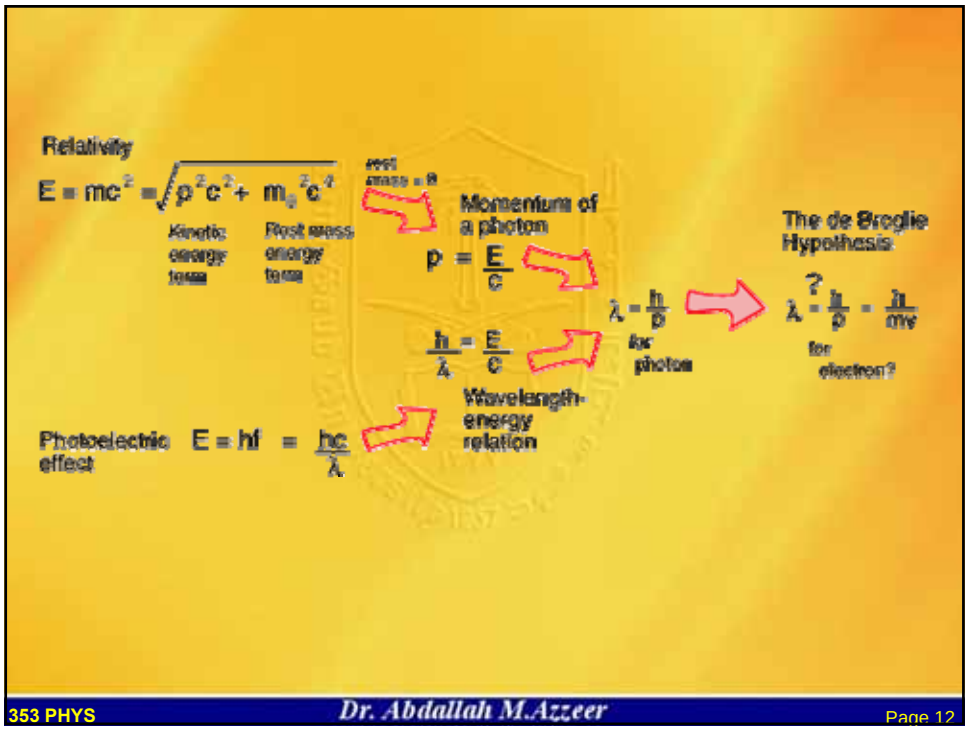
$$\lambda = h/p = h/mv$$

2 – إذا كان هناك موجة طولها الموجي λ فإن مربع سعة الموجة عند أي نقطة في الفضاء تتناسب مع إحتمالية ملاحظة جسيم كمية حركته تساوي $p = h/\lambda$ عند تلك النقطة في الفضاء .



353 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer Page 10

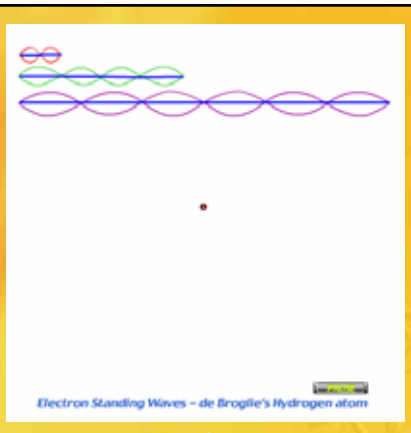
الطبيعة الموجية : التداخل والحيود
الإلكترونات ذات طبيعة موجية
λ = h/p = hc/pc
حيود الكترون الطاقات المنخفضة
(LEED)
الفوتونات ذات طبيعة موجية
λ = hc/E
حيود الأشعة السينية (قانون براغ)
loading ...
353 PHYS
Dr. Abdallah M.Azzeer
Page 11


Relativity
Momentum of a photon
The de Broglie Hypothesis
for photon
for electron?
Wavelength-energy relation
Photoelectric effect
353 PHYS
Dr. Abdallah M.Azzeer
Page 12

ماهي طبيعة موجة الإلكترون هذه ؟؟؟

وهنا يقول العالم ديبرولي انه ليس مهما ان نعرف طبيعة موجة الإلكترون ويكفي أن نثبت أن الإلكترون يحيد ويتداخل وهي من الظواهر الفيزيائية للموجات.

كما إن الضوء عرف أن له سلوك موجي قبل معرفة إن موجة الضوء هي تغير في المجال الكهربي والمغناطيسي ينتشر في الفراغ بسرعة 300000 كيلومتر في الثانية ولهذا سميت بالأشعة الكهرومغناطيسية عند التعامل مع الخاصية الموجية للضوء وسميت بالفوتون عند التعامل مع الخاصية الجسيمية له



إذا أعتبر الموجة المصاحبة لحركة الإلكترون حول النواة في ذرة الهيدروجين ، فإن

$$2\pi r_n = n\,\lambda_n$$

ولكن حسب فرضية دي برولي

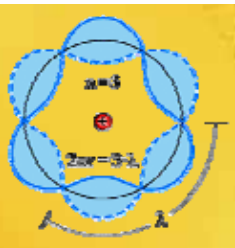
$$\lambda_n = nh/p_n = nh/mv_n$$

بالتعويض عن λ_n في المعادلة السابقة

$$2\pi r_n = n\,\lambda_n = nh/mv_n$$

$$mv_n\, r_n = nh/2\pi = n\,\hbar$$

وهذه فرضية بوهر



Example

Calculate the deBroglie wavelength associated with the following.

a) A golf ball of mass 50 g moving with a velocity of 20 m/sec.

b) A proton moving with a velocity of 2200 m/sec.

c) An electron moving with a kinetic energy of 10 eV.

a) According to deBroglie's hypothesis

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

$$= \frac{6.625 \times 10^{-34} \text{ joule-sec}}{0.05 \text{ kg} \times 20 \text{ m/sec}}$$

$$= 6.625 \times 10^{-34} \frac{\text{joule-sec}^2}{\text{kg-m}}$$

$$= 6.625 \times 10^{-34} \text{ m},$$

which is too small to be detected.

b) The mass of a proton is 1.67×10^{-27} kg. Therefore the deBroglie wavelength of a proton is

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

$$= \frac{6.625 \times 10^{-34} \text{ joule-sec}}{1.67 \times 10^{-27} \text{ kg} \times 2200 \text{ m/sec}}$$

$$= 1.91 \times 10^{-10} \text{ m} = 1.91 \text{ Å}.$$

This wavelength is of the order of x-ray wavelengths. Note that we have used the non-relativistic expression for momentum because, for this velocity, the kinetic energy is much smaller than the rest-mass energy of the proton.

c) For an electron of kinetic energy 10 eV, we can still use classical mechanics because 10 eV is much less than 510 keV, the rest mass of the electron. Thus $K = \frac{1}{2}mv^2 = p^2/2m$, or $p = \sqrt{2mK}$. From deBroglie's hypothesis,

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mK}}.$$

But $K = 10$ eV. Therefore

$$\lambda = \frac{6.625 \times 10^{-34} \text{ joule-sec}}{\sqrt{2(9.11 \times 10^{-31} \text{ kg})(10 \text{ eV})(1.602 \times 10^{-19} \text{ joule/eV})}}$$

$$= 3.9 \times 10^{-10} \text{ m} = 3.9 \text{ Å}.$$

If the kinetic energy of the electron becomes comparable to its rest mass, we must use the relativistic expression for momentum.

loading ...

Wave pulse

$v_g = \partial\omega / \partial k$

Particle

v

Photon:

$E = h\nu$

$p = h/\lambda$

(Einstein, 1905)

Matter wave:

$\nu = E/h$

$\lambda = h/p$

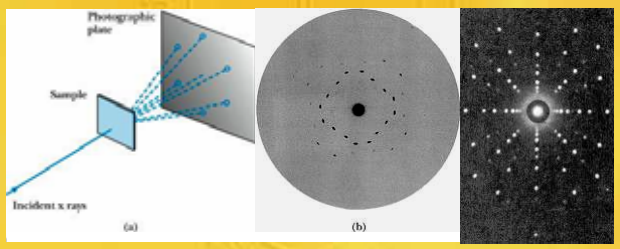
(de Broglie, 1924)

353 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer Page 17

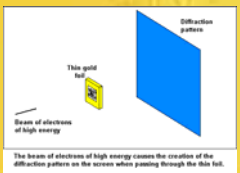
التجارب التي اثبتت موجات الإلكترن

تاريخ

- 1895 – أكتشف رونجن Roentgen الأشعة السينية في انابيب الأشعة المهبطية (CRT).
- 1912 حصل لاوي Laue علي شكل حيود الأشعة السينية من البلورات .

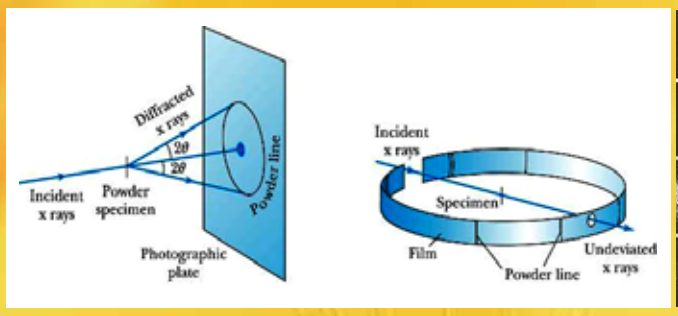


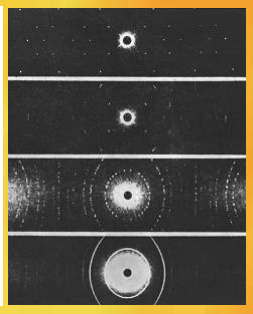
Laue Pattern

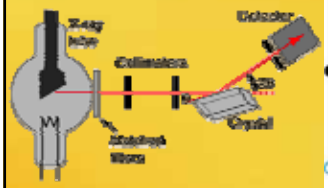


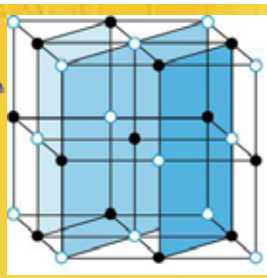
353 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer Page 18

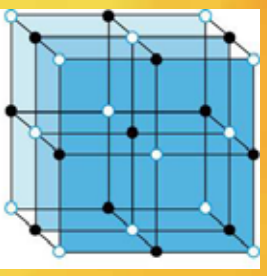
- 1912 طور براغ Bragg جهاز مقياس الحيود .











353 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer Page 19